



SUOMI-FINLAND  
(FI)

(11) (21) Patenttihakemus - Patentansökan	950748
(51) Kv.1k.6 - Int.cl.6	
G 01B 11/24	
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	17.02.95
(24) Alkupäivä - Löpdag	17.02.95
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	18.08.96

Patentti- ja rekisterihallitus  
Patent- och registerstyrelsen

(71) Hakija - Sökande

1. Spectra-Physics Visiontech Oy, Teknologiantie 2, 90570 Oulu, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Paakkari, Jussi, Huovinkuja 5, 90630 Oulu, (FI)  
2. Alapuranen, Pertti, Haukiputaantie 1118, 90910 Kontio, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Patenttitsto Teknopolis Kolster Oy

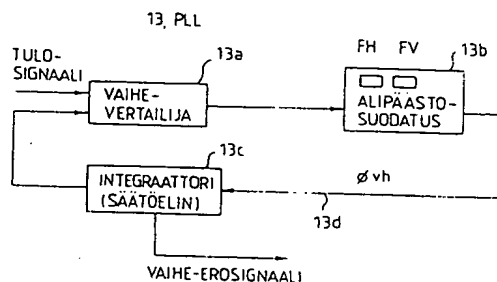
(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

Menetelmä ja laite pinnan korkeustiedon määrittämiseksi pinnan tasomaisuuden mittauksessa  
Förfarande och anordning för bestämning av en ytas höjd vid mätning av ytans planhet

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksinnön kohteena on menetelmä ja laite pinnan korkeustiedon määrittämiseksi pinnan tasomaisuuden mittauksessa. Pintaa kuvaamalla muodostetaan juovakuviotyypinen kuvasignaali. Kuvasignaalista ilmaistaan kantoaallon vaihetieto ja vaihetiedosta määritetään pinnan korkeustieto (z). Keksinnön mukaisesti vaiheen ilmaisussa käytetään vaihelukittua silmukkaa, jossa suoritetaan vaihevertailu. Vaihevertailusta saatava hetkellinen vaihe-erosignaali alipäästösuodatetaan liiallisten vaihemuutosten vaimentamiseksi. Vaihetiedon määrittämiseksi menetelmässä hetkellisen vaihe-erosignaalin lisäksi vaihelukitus silmukassa (13, PLL) määritetään absoluuttinen kumulatiivinen vaihetieto ( $\phi_{abs}$ ) määrittämällä kunkin kuvapisteen vaihe-eroskennan alkupisteeseen (S) nähden.

Uppfinningen avser förfarande och anordning för bestämning av höjddata vid mätning av jämnheten hos en yta. Genom fotografering av ytan bildas en bildsignal av linjebildtyp. Ur bildsignalen detekteras fasinformation för en bärvåg och ur fasinformationen bestäms ytans höjddata (z). Enligt uppfinningen används vid fasdetekteringen en faslåst slinga, i vilken fasjämförelse utförs. Den ur fasjämförelsen erhållna momentana fasdifferenssignalen underpassfiltreras för dämpning av överstora fasförändringar. För bestämning av fasinformationen bestäms vid förfarandet utöver den momentana fasdifferenssignalen i den faslåsta slingan (13, PLL) den absoluta kumulativa fasinformationen ( $\phi_{abs}$ ) genom bestämning av varje bildpunkts fasdifferens i relation till beräkningens utgångspunkt (S).



Menetelmä ja laite pinnan korkeustiedon määrittämiseksi pinnan tasomaisuuden mittauksessa

5           Keksinnön kohteena on menetelmä pinnan korkeustie-  
don määrittämiseksi pinnan tasomaisuuden mittauksessa,  
jossa menetelmässä tarkastettavalle pinnalle projisoidaan  
tai muutoin muodostetaan kuvio, pinnasta heijastuvaa sä-  
teilyä detektoidaan useita kuvarivejä käsittävän 2-ulot-  
teisen juovakuviotyypin kuvasignaalin muodostamiseksi,  
10   kuvasignaalista ilmaistaan kantoaallon vaihetieto, ja vai-  
hetiedosta määritetään pinnan korkeustieto.

          Keksinnön kohteena on myös laite pinnan korkeustie-  
don määrittämiseksi pinnan tasomaisuuden mittauksessa, jo-  
ka laite käsittää välineet kuvion synnyttämiseen pinnalle,  
15   välineet 2-ulotteisen useita kuvarivejä käsittävän juova-  
kuviotyypin kuvasignaalin muodostamiseen pinnasta hei-  
jastuvasta säteilystä, välineet kuvasignaalin kantoaallon  
vaihetiedon ilmaisuun ja välineet vaihetiedon muuttamiseen  
pinnan korkeustiedoksi.

20           Keksintöä voidaan soveltaa erityisesti metalliteol-  
lisuudessa levymäisten ja nauhamaisten tuotteiden tasomai-  
suuden tarkkailuun. Menetelmällä voidaan havainnoida ne  
tuotteet, joissa esiintyy liiallisia pintakohoumia, pai-  
naumia tai muita vastaavia muotovirheitä, joita voivat ai-  
25   heuttaa esimerkiksi kuluneet tai muutoin huonokuntoiset  
valssausrullat.

          Detektorivälineen, kuten kameran, muodostama ku-  
vasignaali on juovakuviokuva. Juovakuviolla tarkoitetaan in-  
terferometriatyyppistä juovakuviota, joka käsittää tummia  
30   juovia ja niiden välisiä vaaleita juovia. Kameran näkemän  
juovakuviota tummat juovat vastaavat kameran mittaaman in-  
tensiteetin minimikohtaa. Kameran näkemän juovakuviota vaa-  
leat juovat vastaavat kameran mittaaman intensiteetin mak-  
simikohtaa. Juovakuviota juovat ovat tavallaan korkeuskäy-  
35   riä ja tällöin esimerkiksi siirtyminen juovakuviota tummal-

ta juovalta seuraavalle tummalle juovalle tarkoittaa jostain nousua kuten esimerkiksi 3 mm nousua tarkastettavalla pinnalla.

Juovakuvio voi olla Moire-kuvio, kuten projektio-  
 5 Moire-menetelmällä muodostettu juovakuvio, tai juovakuvio voi olla synnytetty interferometrillä. Termi interferometriatyypinen juovakuvio siis sisältää myös muitakin juovakuvioita kuin interferenssimittalaitteella synnytettyjä juovakuvioita. Tällaisia juovakuvioita ovat esimerkiksi  
 10 projektio-Moire-menetelmällä muodostetut juovakuviot ja varjo-Moire-menetelmällä muodostetut juovakuviot. Esimerkiksi projektio-Moire-menetelmällä muodostettu juovakuvio saadaan aikaan projisoimalla valolähteestä saatavalla valolla hila tarkastettavalle pinnalle ja tallentamalla toisen hilan lävitse kameralle varsinainen juovakuvio eli 2-  
 15 ulotteinen intensiteettisignaali eli kuvasignaali.

Kantoaallon sisältävässä, projektio-Moire-menetelmällä muodostettussa juovakuviossa pinnan korkeustieto eli z-koordinaatti on koodattu kantaallon vaiheeseen, koska  
 20 pinnan muoto moduloi kantaaltoa. Pinnan korkeustieto saadaan siis selville vaiheen ilmaisulla ja muuntamalla vaihetieto korkeustiedoksi. Pinnan muoto vaikuttaa juovakuvi-  
 on juovien taipumiseen ja juovien väliseen etäisyyteen.

Moire-kuvioiden tulkintaan on käytetty useita eri  
 25 menetelmiä, joita ovat esimerkiksi temporal phase shifting- ja spatial carrier phase shift (SCPS) -menetelmät. Tunnetut ratkaisut sisältävät useita ongelmia. Eräs tunnettu menetelmä on esitetty julkaisussa US- 4 212 073. Nykyisin tunnetut laskentamenetelmät eivät ole helposti sovellettavissa automaattiseen ja reaaliaikaiseen häiriöllisen juovakuvion analysointiin. Juovakuvion häiriöt aiheutuvat esimerkiksi tekstistä, värimerkinnöistä tai muista pinnan merkinnöistä, joita esimerkiksi teräslevyn pintaan on tehty. Tällaiset merkinnät heikentävät tasomaisuusmit-  
 30 tauksen luotettavuutta, mikäli ne tulkitaan pinnan kohou-

miksi. SCPS -menetelmässä on ongelmana kaarevien pintojen aiheuttama kantoaallon taajuuden muuttuminen, josta on seurauksena vaihevirhesignaali.

5 Tämän keksinnön tarkoituksena on tuoda esiin uuden-  
tyyppinen menetelmä ja laite, jotka välttävät tunnettuihin  
ratkaisuihin liittyvät ongelmat.

Tämä tarkoitus saavutetaan keksinnön mukaisella me-  
netelmällä, jolle on tunnusomaista, että vaiheen ilmaisu-  
sa käytetään vaihelukittua silmukkaa, jossa suoritetaan  
10 vaihevertailu kuvasignaalin muodostaman tulosaalalin ja  
takaisinkytketysti ohjatun säätöelimen tuottaman vertai-  
lusignaalin välillä, että vaihevertailusta saatava hetkel-  
linen vaihe-erosignaali alipäästösuodatetaan liiallisten  
vaihemuutosten vaimentamiseksi, että suodatettua signaalia  
15 käytetään ohjauksena säätöelimelle, jolla synnytetään uusi  
vertailusignaali, joka syötetään vaihevertailuun tulosig-  
naalin kanssa, ja että vaihetiedon määrittämiseksi mene-  
telmässä hetkellisen vaihe-erosignaalin lisäksi vaiheluki-  
tussa silmukassa määritetään absoluuttinen kumulatiivinen  
20 vaihetieto määrittämällä kunkin kuvapisteen vaihe-ero las-  
kennan alkupisteeseen nähden.

Mainittu tarkoitus saavutetaan keksinnön mukaisella  
laitteella, jolle on tunnusomaista, että välineet vaihe-  
tiedon ilmaisuun käsittävät kuvasignaalia lukevan vaihe-  
25 lukitun silmukan, joka käsittää vaihevertailijan, johon  
kuvasignaali on kytketty yhdeksi tulosignaaliksi, vaihelu-  
kitun silmukan lisäksi käsittäessä vaihevertailijaan kyt-  
ketyn alipäästösuodatinvälineen, vaihelukitun silmukan li-  
säksi käsittäessä vertailusignaalin tuottavan ja absoluut-  
30 tista kumulatiivista vaihetta integroivan säätöelimen, jo-  
ka käsittää takaisinkytkentäohjauksen alipäästösuodatinvä-  
lineeltä, säätöelimen tuottaman vertailusignaalin ollessa  
kytketty toiseksi sisääntulosignaaliksi vaihevertailijaan.

Moire-kuvissa vaihetieto esiintyy kaksiulotteisena  
35 kameralla tuotettuna signaalina. Keksinnössä on hyödynnet-

ty ensinnäkin havaintoa siitä, että peräkkäisillä riveillä olevien juovakuvioiden taajuus ei voi merkittävästi erota toisistaan, ja toiseksi sitä, että peräkkäisillä riveillä olevien juovakuvioiden vaihe-ero ei voi rajatussa sovel-

5 lutuksessa olla määrättyä suurempi. Näin ollen vaiheen yllättävät muutokset voidaan suodattaa pois, koska ne eivät ole pinnan kohoumien aiheuttamia, vaan esimerkiksi tekstin tai värisävy muutosten aiheuttamia.

Keksinnöllä saavutetaan useita etuja. Kehitettyä

10 laskentamenetelmää käyttäen voidaan toteuttaa täysauto-

maattinen mittalaite, joka toimii aiempaa huomattavasti huonommalla signaali-kohina -suhteella eli siis häiriöllis-

15 semmille kuvasignaaleille. Laskentamenetelmä voidaan to-

teuttaa yhdellä kaupallisella signaaliprosessorilla. Algo-

ritmi adaptoituu automaattisesti mittaussympäristön geomet-

20 risiin ja fotometrisiin muutoksiin. Hyvä häiriönsieto ja adaptiivisuus mahdollistavat tarkan mittaussignaalin vai-

heilmaisun ja siten myös tarkan mittaustuloksen. Koska al-

goritmi toimii kohinaisella signaalilla, mittalaitteen se-

25 kä mittaussympäristön optisia ja mekaanisia vaatimuksia voidaan lieventää. Keksintö poistaa tunnettujen menetelmi-

en ns. unwrapping-ongelman, mikä ongelma tarkoittaa sitä, että absoluuttista kumulatiivista vaihetietoa ei pystytä laskemaan, jolloin menetelmä toimii virheellisesti. Optis-

30 ten ja mekaanisten komponenttien vaatimustason laskeminen ja vain yhden signaaliprosessorin käyttäminen mahdollista-

vät kustannuksiltaan aiempaa huomattavasti halvemman lai-

tekonstruktion. Tarvittavat cos- ja sin-arvot voidaan tau-

lukoida, jolloin kuvapisteen vaiheinformaation laskennassa ei tarvita atan-, acos- tai asin-funktioita, jotka olisi-

vat laskennallisesti hitaita ja raskaita operaatioita.

Keksintöä selitetään seuraavassa lähemmin viitaten oheisiin piirustuksiin, joissa

kuvio 1 esittää mittaussjärjestelyä

35 kuvio 2 esittää vaihetiedon ilmaisussa käytettävän

vaihelukitun silmukan lohkokaaaviota,

kuvio 3 esittää 2-suuntaista kuvarivien läpikäyntiä

kuvio 4 esittää Moire-juovakuvioita,

5 kuvio 5a esittää pinnasta mitattua intensiteetti-signaalia kaikkien kuvarivien intensiteettien ollessa yhdistetty peräkkäin,

kuvio 5b esittää absoluuttista vaihetta

kuvio 6 esittää kuvankäsittely-yksikön ja vastaavan menetelmän lohkokaaaviota.

10 Kuvio 1 esittää siis mittausjärjestelyä. Kuviosta 1 havaitaan tarkastettava pinta 1, jonka tasomaisuutta halutaan mitata. Kuviossa 1 laite pinnan 1 tasomaisuuden mit-  
 15 taukseen, erityisesti pinnan 1 korkeustiedon z määrittämi-  
 seen käsittää välineet 2-5 sinimuotoisen kuvion synnyttä-  
 miseen pinnalle 1. Laite käsittää myös välineet 6-9 2-ulot-  
 teisen useita kuvarivejä käsittävän juovakuviotyypin kuvasignaalin muodostamiseen pinnasta 1 heijastuvasta sä-  
 20 teilystä. Jos on kyse projektio-Moire tekniikasta, niin välineet 2-5 käsittävät valaisuvälineen 2, kondensoivan  
 linssin 3, ensimmäisen hilan 4 ja optiikan 5, ja tällöin välineet 6-9 puolestaan käsittävät optiikan 6, toisen hi-  
 25 lan 7, kenttälinssin 8 ja detektorin 9 eli käytännössä ka-  
 meran 9 kuten matriisikameran. Projektio-Moire-tekniikalle on ominaista, että pinta 1 valaistetaan ensimmäisen hilan 4  
 läpi ja pinta kuvataan toisen hilan 7 läpi, jolloin saa-  
 daan kantoaallon käsittävä projektio-Moire-kuvio kuten juovakuviokuva kuviossa 4. Pinnalle 1 hilan 4 läpi tehdyllä  
 30 valaisulla muodostettu kuvio on myöskin juovakuviokuva, mutta sen taajuus paljon suurempi kuin kuvion 4 mukainen kameran  
 9 mittaama toiselle hilalle 7 syntyvä varsinainen juovaku-  
 vio.

Kuviossa 1 pinnan, kuten teräslevyn, etenemissuunta on katsojasta poispäin ja juovakuvioiden juovat samoin. Tällöin Moire-kuviossa kuviossa 4 muodostuu levyn poikit-  
 35 taissuuntainen sinimuotoinen signaali. Kuvion 4 Moire-ku-

viossa eli kameran 9 ottamassa kuvassa tummat juovat vastaavat kuvion 5a intensiteettisignaalin eli kuvasignaalin matalia kohtia. Kuvion 4 Moire-kuviossa, eli kameran 9 ottamassa kuvassa, vaaleat juovat vastaavat kuvion 5a intensiteettisignaalin eli kuvasignaalin korkeita kohtia.

Kantaaallon sisältävässä projektio-Moire-kuviossa, kuten kuviossa 4, on 3D-tieto eli pinnan z-koordinaatti koodattu kantaaallon vaiheeseen  $\phi$ , sillä pinnan muoto muoduloi kantaaaltoa.

Kuvioihin 1 ja 6 erityisesti viitaten laite käsittää kuvankäsittely-yksikön 11. Kuvankäsittely-yksikkö 11 puolestaan käsittää välineet 13 kuvasignaalin kantaaallon vaihetiedon  $\phi$  ilmaisuun ja välineet 14 vaihetiedon  $\phi$  muuttamiseen pinnan korkeustiedoksi z. Lisäksi havaitaan tulkintayksikkö 15, joka määrittää, onko kyseessä tasomaisuusvirhe vai ei.

Kuvioon 2 viitaten välineet 13 vaihetiedon ilmaisuun käsittävät 2-ulotteista kuvasignaalia kuvarivi kerrollaan lukevan vaihelukitun silmukan 13 (PLL, Phase Locked Loop), joka käsittää vaihevertailijan 13a, johon kuvasignaali on kytketty yhdeksi tulossignaaliksi, vaihelukitun silmukan 13 lisäksi käsittäessä vaihevertailijaan 13a kytketyn alipäästösuodatinvälineen 13b, vaihelukitun silmukan 13 lisäksi käsittäessä vertailusignaalin tuottavan ja absoluuttista kumulatiivista vaihetta integroivan säätöelimien 13c, joka käsittää takaisinkytkentäohjauksen 13d alipäästösuodatinvälineeltä 13b. Säätöelimien 13c tuottama vertailusignaali on kytketty toiseksi sisääntulosignaaliksi vaihevertailijaan 13a.

Edullisessa toteutusmuodossa alipäästösuodatinväline 13b käsittää kuvarivin suunnassa suodattavan 1-ulotteisen suodatinelimen FH ja kuvarivin poikittaissuunnassa suodattavan toisen 1-ulotteisen suodatinelimen FV. Kuvarivin suunnassa suodattava eli vaakasuora suodatinelin FH huolehtii siitä, että yhden kuvarivin sisällä ei tule lii-

an suuria vaiheiden muutoksia. Kuvarivin poikittaissuunnassa suodattava eli pystysuora suodatinelin FV huolehtii siitä, että yksittäinen kuvarivi ei pääse edellisiin kuvariveihin verrattuna liikaa liikkumaan eli liukumaan.

5 Kuvankäsittely-yksikössä 11 ennen vaihelukittua silmukkaa 13 (PLL) laite 1 eli käytännössä laitteen kuvankäsittely-yksikkö 11 käsittää edullisessa toteutusmuodossa esisuodatinvälineen 11a, jonka keskitaajuus olennaisesti vastaa kuvasignaalin keskitaajuutta. Menetelmässä ennen  
10 vaiheen ilmaisuun siis suoritetaan esisuodatus, jolla kuvasignaalista suodatetaan pois kanta-aallon keskitaajuudesta poikkeavat taajuudet. Tällöin laite ja menetelmä toimivat adaptiivisesti, mikä parantaa menetelmän etuja. Ennen vaihelukittua silmukkaa 13 laite lisäksi edullisessa toteutusmuodossa käsittää välineet 11b kuvasignaalin vahvistuksen ja tason säätämiseen. Esisuodatuksen lisäksi menetelmässä siis suoritetaan vahvistuksen ja signaalitason korjaus. Kuvioista 6 havaitaan myös, että kuvankäsittelylohkossa ensimmäisenä lohkona on laskenta-alueen rajaus-  
15 lohko 11c.  
20

Menetelmän osalta todetaan, että kyseessä on siis menetelmä pinnan 1 korkeustiedon  $z$  määrittämiseksi pinnan 1 tasomaisuuden mittaauksessa. Menetelmässä tarkastettavalle pinnalle 1 muodostetaan korkeataajuinen sinimuotoinen  
25 juovakuviot, pinnasta 1 heijastuvaa säteilyä detektoidaan useita kuvarivejä käsittävän matalataajuisemman, juovakuviotyypin 2-ulotteisen kuvasignaalin (kuviot 4 ja 5a) muodostamiseksi. Menetelmässä 2-ulotteisesta kuvasignaalista ilmaistaan kanta-aallon vaihetieto  $\phi$ , ja vaihetiedosta määritetään pinnan korkeustieto  $z$ .  
30

Keksinnön mukaisesti menetelmässä vaiheen  $\phi$  ilmaisussa käytetään vaihelukittua silmukkaa 13, PLL, jossa suoritetaan vaihevertailu 2-ulotteisen kuvasignaalin muodostaman tulosaallon ja takaisinkytketysti ohjatun säätöelimen 13c tuottaman vertailusignaalin välillä. Vaihe-  
35

vertailusta saatava hetkellinen vaihe-erosignaali alipäästösuodatetaan liiallisten vaihemuutosten vaimentamiseksi. Suodatettua signaalia  $\phi_{vh}$  käytetään ohjauksena eli korjaustekijänä säätöelimelle 13c, jolla synnytetään uusi  
 5 korjattu vertailusignaali, joka syötetään vaihevertailuun tulosignaalin kanssa. Korkeustiedon  $z$  laskentaan käytettävän vaihetiedon määrittämiseksi menetelmässä hetkellisen vaihe-erosignaalin  $\phi_{vh}$  lisäksi vaihelukitusssa silmukassa 13, PLL määritetään absoluuttinen kumulatiivinen vaihetieto  $\phi_{abs}$  määrittämällä kunkin kuvapisteen vaihe-ero laskennan alkupisteeseen  $S$  nähden. Alkupiste  $S$  havaitaan kuvioista 3, 4 ja 5a. Kuviossa 5b on esitetty absoluuttinen kumulatiivinen vaihetieto  $\phi_{abs}$ .

Kuvioissa 5a ja 5b koordinaatiston vaaka-akseli  
 15 esittää pikselimäärää  $P$  kuvasignaalin alusta lähtien laskettuna. Kuviossa 4 on 512 kuvariviä ja 512 kuvapistettä eli pikseliä kullakin kuvarivillä. Kuviossa 5a ja 5b täysi 360 asteen aalto eli  $2\pi$  matka vastaa esimerkiksi 45 pikseliä ja tällöin yhdellä kuvarivillä olisi hieman alle 12  
 20 täyttä aaltoa eli vaiheen arvo olisi noin  $24\pi$  ja se kerrottuna kuvarivien määrällä 512 antaa absoluuttisen vaiheen maksimiarvon kuviossa 5b.

Vaihetieto määritetään säätöelimen 13c sen hetkisen vaiheen ja teoreettisen vakiotaajuisen kantoaallon vaiheen erotuksena.  
 25

Takaisinkytkennällä säätöelintä 13c ohjataan siten, että säätöelimen ja tulosignaalin vaihe-ero on ainakin likimain  $90^\circ$  tai sen monikerta. Tällöin menetelmä on laskennallisesti nopea, koska tällainen asetus minimoi trigonometristen funktioiden laskenta-aikaa.  
 30

Edullisessa toteutusmuodossa kuvioon 3 viitaten absoluuttinen vaihetieto  $\phi_{abs}$  säilytetään lukemalla 2-ulotteista kuvasignaalia vuorotellen vastakkaisiin suuntiin siten, että edellisen kuvarivin vaihetietojen tultua lasketuksi lasketaan vaihetiedot seuraavalta kuvariviltä vas-  
 35

takkaiseen suuntaan. Kuviossa 3 merkintä R1 esittää ensimmäistä kuvariviä, jota luetaan vasemmalta oikealle. Kuviossa 3 merkintä R2 esittää toista kuvariviä, jota luetaan oikealta vasemmalle. Edullisessa toteutusmuodossa menetelmässä toimitaan tällöin siten, että vaihetiedon laskenta-

5 suunnan vaihtuessa viimeisintä absoluuttista kumulatiivista vaihetietoa edelliseltä kuvariviltä käytetään seuraavalla kuvarivillä alkuarvona, jolloin absoluuttinen vaihetieto pysyy tallessa. Kuvarivien luenta vuorotellen eri

10 suuntiin poistaa myös juovakuvioiden kertaluvun laskentaan liittyviä ongelmia. Edullisimmin luetaan kamerakuvaa (kuvio 4) siten, että laskenta aloitetaan vasemmalta ylhäältä ja se päätetään oikealle alas. Tämän vuoksi kuvioista 5a ja 5b on syytä todeta, että niissä signaalien alkupää

15 vastaavat kuviossa 4 ensimmäisen eli ylimmän kuvarivin vasenta reunaa, ja signaalien loppupäävät vastaavat kuviossa 4 viimeisen eli alimman kuvarivin oikeaa reunaa.

Edullisessa toteutusmuodossa absoluuttinen kumulatiivinen vaihetieto  $\phi_{abs}$  määritetään vertailusignaalin tuottavalla säätöelimellä 13c, joka integroi absoluuttista kumulatiivista vaihetta  $\phi_{abs}$ , jolloin laiteratkaisu vaihelukituksessa silmukassa 13, PLL on yksinkertainen.

20

Edullisessa toteutusmuodossa menetelmä on sellainen, että vaihevertailusta saatavan hetkellisen vaihe-erossignaalin suodatuksessa alipäästösuodatusvälineellä 13b käytetään haluttua lukitusrajaa, jonka ylittävät vaihemuutokset vaimennetaan. Tällöin voidaan tehokkaasti estää esimerkiksi tekstien tai värisävy muutosten tulkitseminen pinnan kohoumaksi.

25

Menetelmän luotettavuuden parantamiseksi menetelmässä kalibroidaan optiset, mekaaniset tai muut vastaavat vääristymät kuva-alueen yhdessä tai useammassa pisteessä suorittamalla nolllatason mittaus kalibrointivälineellä 50, jonka mittauksen perusteella absoluuttista kumulatiivista vaihetietoa korjataan. Tällainen kalibrointi on helposti

30

35

suoritettavissa, koska se ei ole riippuvainen mittausympäristöstä.

Säätöelimen 13c vaihe on  $\sum(\phi_{pp} + \phi_{vh})$ , jossa  $\phi_{pp}$  on edeltä käsin tunnettu vaihe-ero kahden laskentapisteen (käytännössä usein kuvapiste) välillä ja  $\phi_{vh}$  on silmukkasuodattimen eli alipäästösuodatinvälineen 13b antama vaiheen korjaustermi eli ohjaussignaali säätöelimelle 13c. Koska säätöelin 13c integroi absoluuttista vaihetta välillä  $0\pi - \infty$ , saadaan säätöelimen vaihe jokaiselle laskentapisteelle. Säätöelimen 13c sen hetkisen eli hetkellisen vaiheen  $\sum(\phi_{pp} + \phi_{vh})$  ja vakiotaajuisen kantoaallon edellyttämän hetkellisen vaiheen  $\sum(\phi_{pp})$  erotus on laskentapisteen mittaustulos, josta voidaan määrittää välineellä 14 pinnan z-koordinaatin ero laskennan alkupisteeseen. Tulkintayksikkö 15 määrittää onko kyseessä tasomaisuusvirhe vai ei.

Vaikka keksintöä on edellä selostettu viitaten oheisten piirustusten mukaisiin esimerkkeihin, on selvää, ettei keksintö ole rajoittunut niihin, vaan sitä voidaan monin tavoin muunnella oheisten patenttivaatimusten esittämän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.

## Patenttivaatimukset

1. Menetelmä pinnan korkeustiedon määrittämiseksi pinnan tasomaisuuden mittauksessa, jossa menetelmässä tarkastettavalle pinnalle (1) projisoidaan tai muutoin muodostetaan kuvio, pinnasta heijastuvaa säteilyä detektoidaan useita kuvarivejä käsittävän 2-ulotteisen juovakuviotyypin kuvasignaalin muodostamiseksi, kuvasignaalista ilmaistaan kantoaallon vaihetieto, ja vaihetiedosta määritetään pinnan korkeustieto (z), t u n n e t t u siitä, että vaiheen ilmaisussa käytetään vaihelukittua silmukkaa (13, PLL), jossa suoritetaan vaihevertailu kuvasignaalin muodostaman tulosaalalin ja takaisinkytketysti ohjatun säätöelimen (13c) tuottaman vertailusignaalin välillä, että vaihevertailusta saatava hetkellinen vaihe-erosignaali alipäästösuodatetaan liiallisten vaihemuutosten vaimentamiseksi, että suodatettua signaalia käytetään ohjauksena säätöelimelle (13c), jolla synnytetään uusi vertailusignaali, joka syötetään vaihevertailuun tulosaalalin kanssa, ja että vaihetiedon määrittämiseksi menetelmässä hetkellisen vaihe-erosignaalin lisäksi vaihelukituksa silmukassa (13, PLL) määritetään absoluuttinen kumulatiivinen vaihetieto ( $\phi_{abs}$ ) määrittämällä kunkin kuvapisteen vaihe-ero laskennan alkupisteeseen (S) nähden.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että takaisinkytkennällä säätöelintä ohjataan siten, että säätöelimen ja tulosaalalin vaihe-ero on aina ainakin likimain  $n \times 90^\circ$ , missä  $n = 1, 2, 3 \dots$

3. Patenttivaatimuksen mukainen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että absoluuttinen vaihetieto ( $\phi_{abs}$ ) säilytetään lukemalla 2-ulotteista kuvasignaalia vuorotellen vastakkaisiin suuntiin siten, että edellisen kuvarivin vaihetietojen tultua lasketuksi lasketaan vaihetiedot seuraavalta kuvariviltä vastakkaiseen suuntaan.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaihetiedon laskentasuunnan vaihtuessa viimeisintä absoluuttista kumulatiivista vaihetietoa ( $\phi_{abs}$ ) edelliseltä kuvariviltä käytetään seuraavalla kuvarivillä alkuarvona.

5. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että absoluuttinen kumulatiivinen vaihetieto ( $\phi_{abs}$ ) määritetään vertailusignaalin tuottavalla säätöelimellä (13c), joka integroi absoluuttista kumulatiivista vaihetta ( $\phi_{abs}$ ).

6. Patenttivaatimuksen 1 tai 5 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaihetieto määritetään säätöelimen (13c) sen hetkisen vaiheen ja teoreettisen vakio-  
taajuuden kantoaallon vaiheen erotuksena.

7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että vaihevertailusta saatavan hetkellisen vaihe-erosignaalin suodatuksessa käytetään haluttua lukitusrajaa, jonka ylittävät vaihemuutokset vaimennetaan.

8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että menetelmässä ennen vaiheen ilmaisua suoritetaan esisuodatus, jolla kuvasignaalista suodatetaan pois kantoaallon keskitaajuudesta poikkeavat taajuudet, ja että esisuodatuksen lisäksi suoritetaan vahvistuksen ja signaalitason korjaus.

9. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että menetelmässä kalibroidaan optiset, mekaaniset tai muut vastaavat vääristymät yhdessä tai useammassa kuva-alueen pisteessä suorittamalla nollassa mittaus kalibrointivälineellä (50), jonka mittauksen perusteella absoluuttista kumulatiivista vaihetietoa ( $\phi_{abs}$ ) korjataan.

10. Laite pinnan korkeustiedon määrittämiseksi pinnan tasomaisuuden mittauksessa, joka laite käsittää välineet (2-5) kuvion synnyttämiseen pinnalle, välineet (6-9)

2-ulotteisen useita kuvarivejä käsittävän juovakuviotyyp-  
 pisen kuvasignaalin muodostamiseen pinnasta heijastuvasta  
 säteilystä, välineet (13) kuvasignaalin kantoaallon vaihe-  
 tiedon ( $\phi$ ) ilmaisuun ja välineet (14) vaihetiedon ( $\phi$ )  
 5 muuttamiseen pinnan korkeustiedoksi (z), t u n n e t t u  
 siitä, että välineet (13) vaihetiedon ( $\phi$ ) ilmaisuun käsit-  
 tävät kuvasignaalia lukevan vaihelukitun silmukan (13,  
 PLL), joka käsittää vaihevertailijan (13a), johon kuvasig-  
 naali on kytketty yhdeksi tulosignaaliksi, vaihelukitun  
 10 silmukan (13, PLL) lisäksi käsittäessä vaihevertailijaan  
 (13a) kytketyn alipäästösuodatinvälineen (13b), vaiheluki-  
 tun silmukan (13, PLL) lisäksi käsittäessä vertailusigna-  
 lin tuottavan ja absoluuttista kumulatiivista vaihetta in-  
 tegroivan säätöelimen (13c), joka käsittää takaisinkytken-  
 15 täohjauksen (13d) alipäästösuodatinvälineeltä, säätöelimen  
 (13c) tuottaman vertailusignaalin ollessa kytketty toisek-  
 si sisääntulosignaaliksi vaihevertailijaan (13a).

11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen laite,  
 t u n n e t t u siitä, että alipäästösuodatinväline (13b)  
 20 käsittää kuvarivin suunnassa suodattavan 1-ulotteisen suo-  
 datinelimen (FH) ja kuvarivin poikittaissuunnassa suodat-  
 tavan toisen 1-ulotteisen suodatinelimen (FV).

12. Patenttivaatimuksen 10 mukainen laite,  
 t u n n e t t u siitä, että ennen vaihelukittua silmukkaa  
 25 (13, PLL) laite käsittää esisuodatinvälineen (11a), jonka  
 keskitaajuus olennaisesti vastaa kuvasignaalin keskita-  
 juutta, ja että ennen vaihelukittua silmukkaa (13, PLL)  
 laite lisäksi käsittää välineet (11b) kuvasignaalin vah-  
 vistuksen ja tason säätämiseen.

## Patentkrav

1. Förfarande för bestämning av höjddata vid mätning av planheten hos en yta, i vilket förfarande en figur projiceras eller på annat sätt bildas på ytan (1) som skall granskas, av ytan reflekterad strålning detekteras för alstring av en ett flertal bildrader omfattande, 2-dimensionell bildsignal av linjebildtyp, ur bildsignalen detekteras fasinformation för en bärvåg, och ur fasinformationen bestäms ytans höjddata ( $z$ ), k ä n n e t e c k n a t av att vid fasdetekteringen används en faslåst slinga (13, PLL) i vilken fasjämförelsen utförs mellan en av bildsignalen alstrad insignal och en av ett genom återkoppling styrt reglerorgan (13c) alstrad jämförelsesignal, att en från fasjämförelsen erhållen momentan fasdifferenssignal lågpasfiltreras för dämpning av överstora fasförändringar, att den filtrerade signalen används som styrning för reglerorganet (13c) medelst vilket alstras en ny jämförelsesignal som inmatas i fasjämförelsen med insignalen, och att för bestämning av fasinformationen bestäms i förfarandet utöver den momentana fasdifferenssignalen i den faslåsta slingan (13, PLL) absolut kumulativ fasinformation ( $\phi_{abs}$ ) genom bestämning av varje bildpunkts fasdifferens i förhållande till beräkningens utgångspunkt (S).

2. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att reglerorganet styrs genom återkoppling så att reglerorganets och insignalens fasdifferens är alltid åtminstone ungefär  $n \times 90^\circ$ , var  $n = 1, 2, 3 \dots$

3. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att den absoluta fasinformationen ( $\phi_{abs}$ ) upprätthålls genom läsning av den 2-dimensionella bildsignalen turvis i motsatta riktningar, så att då en föregående bildrads fasinformation har räknats, räknas fasinformationen från följande bildrad i motsatt riktning.

4. Förfarande enligt patentkrav 3, k ä n n e t

t e c k n a t av att då räkneriktningen för fasinformationen förändras, används den senaste absoluta kumulativa fasinformationen ( $\phi_{abs}$ ) från föregående bildrad som begynnelsevärde på följande bildrad.

5                    5. Förfarande enligt något av de föregående patentkraven, k ä n n e t e c k n a t av att den absoluta kumulativa fasinformationen ( $\phi_{abs}$ ) bestäms medelst det jämförelsesignalen alstrande reglerorganet (13c) som integrerar den absoluta kumulativa fasen ( $\phi_{abs}$ ).

10                   6. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 5, k ä n n e t e c k n a t av att fasinformationen bestäms som skillnad mellan reglerorganets (13c) för stunden gällande fas och fasen för en teoretisk bärvåg med konstant frekvens.

15                   7. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att i filtreringen av den från fasjämförelsen erhållna momentana fasdifferenssignalen används önskad låsningsgräns, varvid de fasförändringar som överskrider gränsen dämpas.

20                   8. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att före fasens detektering utförs i förfarandet förfiltrering med vilken från bärvågens medelfrekvens avvikande frekvenser filtreras från bildsignalen, och att utöver förfiltreringen utförs en korrigering av  
25 förstärkningen och signalnivån.

                    9. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t av att i förfarandet kalibreras optiska, mekaniska eller andra motsvarande förvrängningar i en eller flera punkter på bildområdet genom mätning av en nollnivå med en kalibreringsapparat (50) på basis av vilken  
30 mätning den absoluta kumulativa fasinformationen ( $\phi_{abs}$ ) korrigeras.

                    10. Anordning för bestämning av höjddata vid mätning av planheten hos en yta, vilken anordning omfattar  
35 organ (2-5) för alstring av en figur på ytan, organ (6-9)

för alstring av en 2-dimensionell, flera bildrader omfattande bildsignal av linjebildtyp ur av ytan reflekterad strålning, organ (13) för detektering av fasinformation ( $\phi$ ) för bildsignalens bärvåg och organ (14) för omvandling av fasinformationen ( $\phi$ ) till ytans höjddata ( $z$ ), k ä n n e t e c k n a d av att organen (13) för detektering av fasinformationen ( $\phi$ ) omfattar en faslåst slinga (13, PLL) som läser bildsignalen och omfattar en fasjämförare (13a) till vilken bildsignalen är kopplad som en insignal, varvid den faslåsta slingan (13, PLL) ytterligare omfattar ett till fasjämföraren (13a) kopplat lågpasfilterorgan (13b), varvid den faslåsta slingan (13, PLL) ytterligare omfattar ett reglerorgan (13c) som alstrar en jämförelsesignal och integrerar en absolut kumulativ fas och omfattar en återkopplingsstyrning (13d) från lågpasfilterorganet, varvid den av reglerorganet (13c) alstrade jämförelsesignalen är kopplad som en andra insignal till fasjämföraren (13a).

11. Anordning enligt patentkrav 10, k ä n n e t e c k n a d av att lågpasfilterorganet (13b) omfattar ett i bildradens riktning filtrerande 1-dimensionellt filterorgan (FH) och ett i bildradens tvärriktning filtrerande andra 1-dimensionellt filterorgan (FV).

12. Anordning enligt patentkrav 10, k ä n n e t e c k n a d av att före den faslåsta slingan (13, PLL) omfattar anordningen ett förfiltreringsorgan (11a) vars medelfrekvens väsentligen motsvarar bildsignalens medelfrekvens, och att före den faslåsta slingan (13, PLL) omfattar anordningen ytterligare organ (11b) för reglering av bildsignalens förstärkning och nivå.

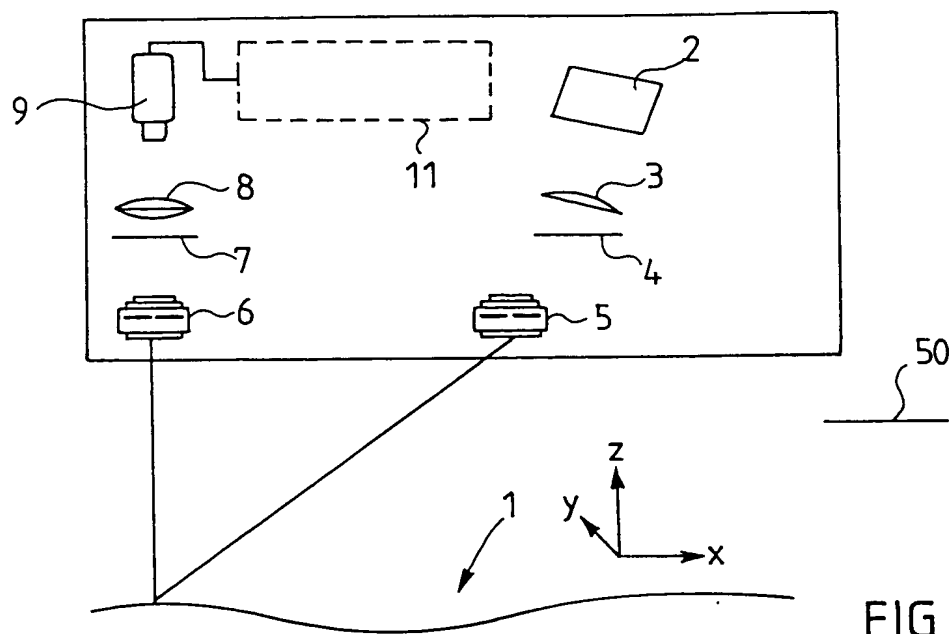


FIG. 1

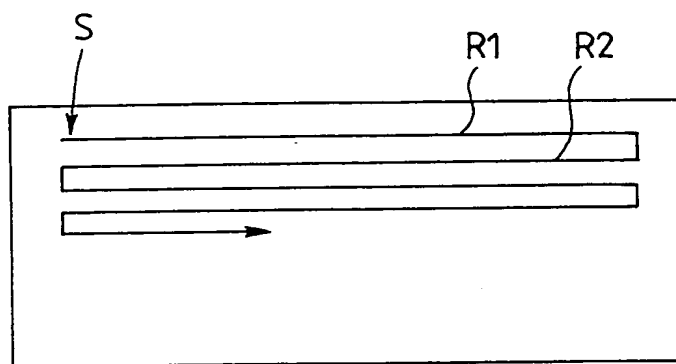


FIG. 3

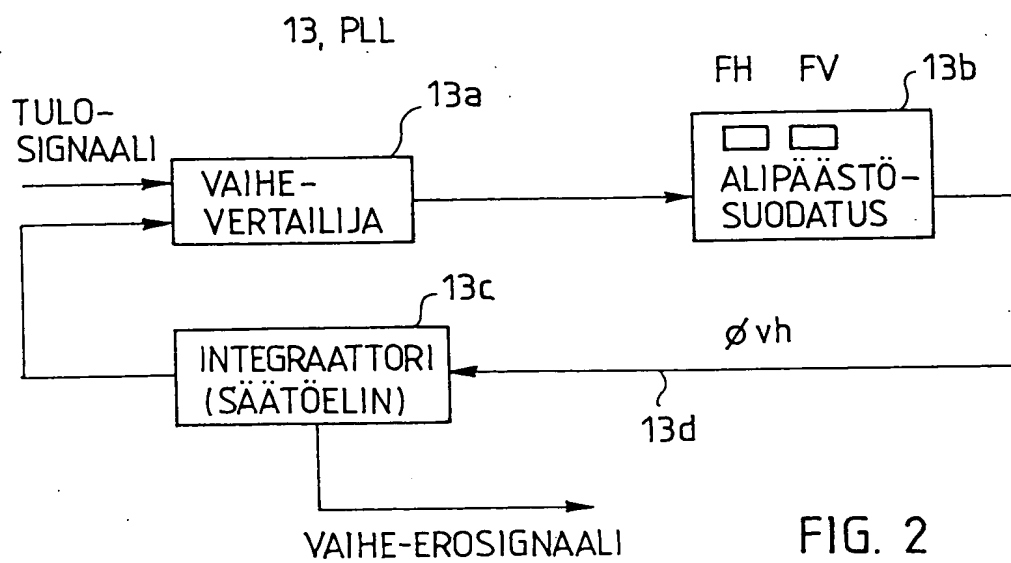


FIG. 2

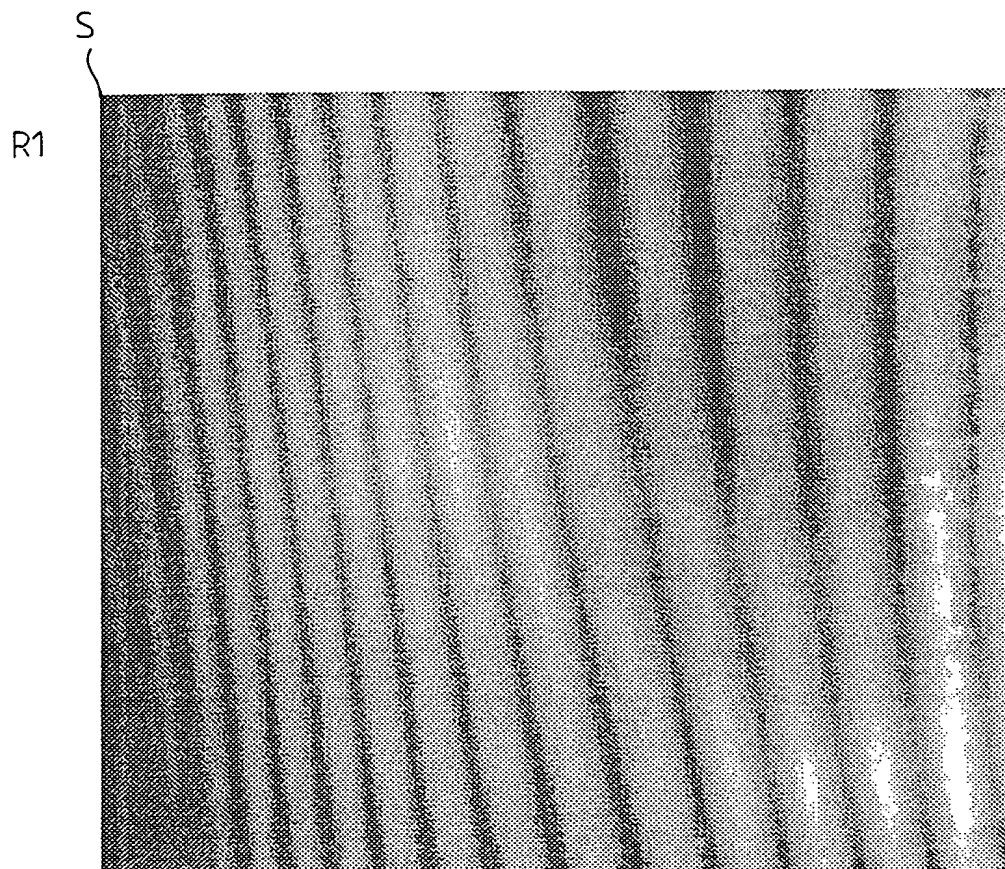


FIG. 4

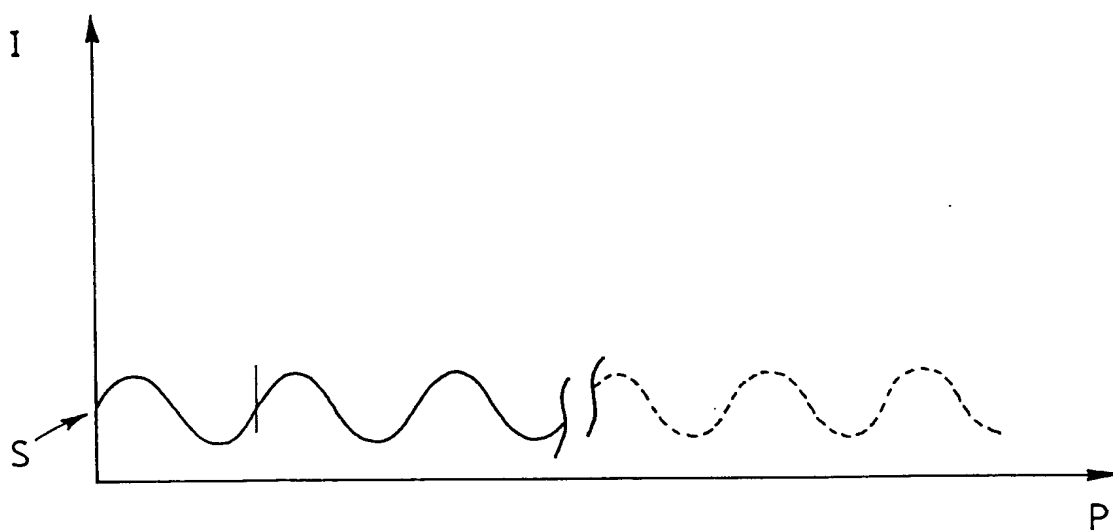


FIG. 5a

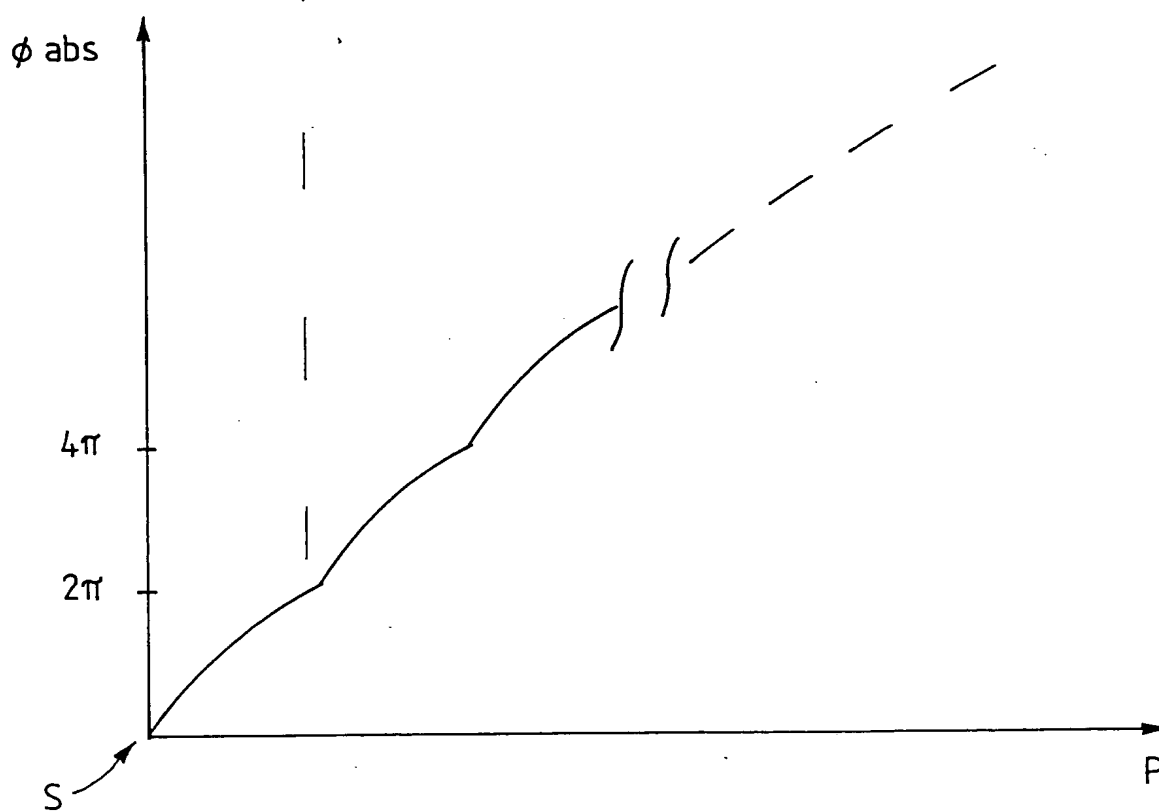


FIG. 5b

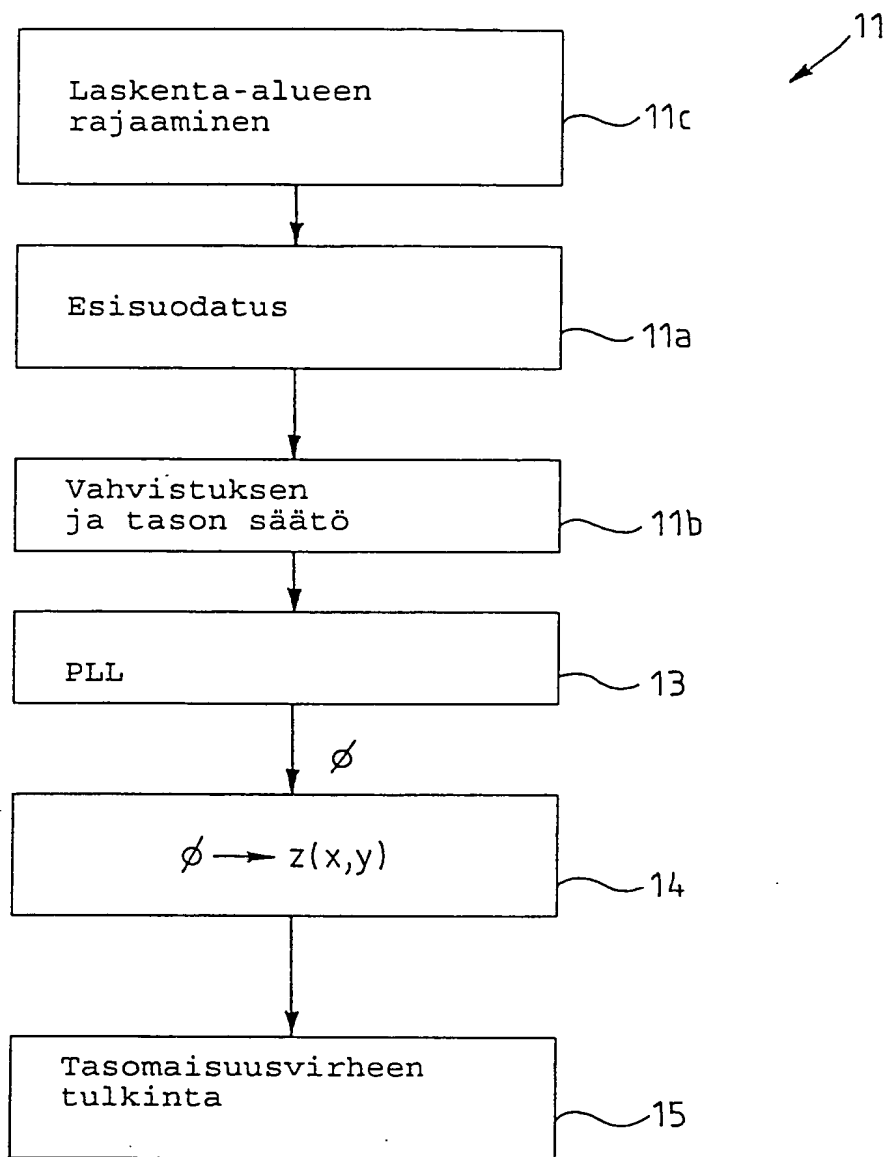


FIG. 6